心理学报 2018, Vol. 50, No.11, 1269−1281
*Acta Psychologica Sinica* DOI: 10.3724/SP.J.1041.2018.01269

# 不同睡眠时间参数对学前儿童执行功能的差异化影响*

邢淑芬[1] 李倩倩[1] 高 鑫[1] 马园园[1] 傅 锐[2]
([1]首都师范大学心理学院, 北京市“学习与认知”重点实验室, 北京 100048) ([2]美国费城儿童医院, 费城 19146)

**摘 要** 研究选取 78 名 5~7 岁的学前儿童为研究对象, 采用睡眠日志法测量了儿童的夜间睡眠比、总睡眠时长和周末补偿睡眠三个睡眠时间的指标, 同时采用母亲报告法收集儿童的消极情绪性, 3 个月后采用美国国立卫生研究院(NIH)的一套标准化测量程序评估儿童的执行功能, 探讨三个睡眠时间参数对不同消极情绪性学前儿童执行功能的差异化影响。结果发现, 在控制了儿童的同时性语言能力之后, 夜间睡眠比能够显著预测儿童三个月之后的执行功能; 儿童的消极情绪性与周末补偿睡眠对执行功能的三个子成分存在显著的交互作用。当周末补偿睡眠较少时, 高消极情绪性儿童的执行功能显著低于低消极情绪性儿童; 当周末补偿睡眠较多时, 高消极情绪性儿童的执行功能显著高于低消极情绪性儿童, 该结果符合差别易感性模型。

**关键词** 睡眠时间; 执行功能; 消极情绪性; 差别易感性; 学前儿童
**分类号** B844

## 1 问题提出

睡眠是人类一个基本的生理调节过程, 与儿童的大脑发育和成熟密切相关(Jones & Harrison, 2001; Molińska & Złotogórska-Suwińska, 2016)。已有大量的横断研究考察了睡眠与学龄儿童或青少年认知、情绪和学业成绩发展的关系(Bub, Buckhalt, & El-Sheikh, 2011; Dewald, Meijer, Oort, Kerkhof, & Bögels, 2010), 然而以学前儿童为研究对象, 尤其是采用追踪研究考察睡眠对学前儿童发展的影响的研究相对较少(Bernier, Beauchamp, Bouvetteturcot, Carlson, & Carrier, 2013)。睡眠成熟在生命的前几年发展迅速(Olini & Huber, 2014), 已有研究表明, 睡眠与认知之间的关系会受到儿童年龄的调节(Dewald et al., 2010), 因此大龄儿童的研究结果并不能直接迁移或延伸到学前儿童阶段(Reynaud, Vecchierini, Heude, Charles, & Plancoulaine, 2018)。本研究拟采用追踪研究的范式考察学前儿童睡眠时间对其随后执行功能的差异化影响。

### 1.1 睡眠与执行功能的关系: 成人和学龄期

执行功能(Executive Function)是一系列的高级认知过程, 用于个体思想和行为的自我调节, 包括认知灵活性、抑制控制和工作记忆三个要素(Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, & Howerter, 2000)。大量的研究表明, 执行功能与大脑前额叶皮层有关, 前额叶皮层的发展是执行功能发展的重要生理基础和前提(Nelson & Luciana, 2001; Zelazo, Carlson, & Kesek, 2008), 前额叶皮层通过激活和抑制其他脑区的活动调节感知觉、思维和行为(Knight & Stuss, 2002)。睡眠的相关研究发现, 前额叶皮层对睡眠质量和睡眠时间非常敏感, 即使短期的睡眠缺乏也会干扰前额叶皮层的功能(Jones & Harrison, 2001; Wimmer, Hoffmann, Bonato, & Moffitt, 1992)。因此前额叶皮层的高级神经认知功能, 即执行功能

收稿日期: 2018-03-19
* 国家社会科学一般项目(17BSH144)和教育部人文社会科学研究项目(16YJC190023)资助。
邢淑芬, 李倩倩, 高鑫为共同第一作者。
通信作者: 邢淑芬, E-mail: xsf2986@163.com

对睡眠的影响也非常敏感(Curcio, Ferrara, & De Gennaro, 2006)。与一般认知功能(如语言、知识)相比, 高级复杂的认知技能——执行功能与睡眠时间和质量具有更高的关联(Jones & Harrison, 2001)。大量以成年人为研究对象的睡眠剥夺实验发现, 睡眠剥夺会导致个体执行功能各方面的表现下降, 包括反应抑制(Harrison, Jones, & Waterhouse, 2007)、工作记忆(Groeger et al., 2008)和判断推理(Olsen, Pallesen, & Espevik, 2013)等。在自然睡眠情况下的睡眠缺乏和更晚的昼夜节律与成年早期阶段更差的执行功能有关(Kuula et al., 2018)。关于学龄阶段儿童的执行功能与睡眠时长的追踪研究发现, 睡眠总时长对学龄儿童执行功能的影响具有滞后性, 儿童三年级的总睡眠时长能够预测其五年级时的认知灵活性和工作记忆(Buckhalt, El-Sheikh, Keller, & Kelly, 2009)。

### 1.2 学前儿童的睡眠时间与执行功能的关系

在生命的前 7 年, 大脑前额叶皮层处于迅速发展的阶段(Huttenlocher, 2002), 也最容易受到环境的影响(Singer, 1995)。在儿童早期发展阶段, 睡眠是最重要的大脑活动(Dahl, 1996), 为数不多的几项已有研究结果的确发现, 对年幼儿童来说, 睡眠与高级认知功能之间存在着更强的联系(Sadeh, Gruber, & Raviv, 2002), 学龄前阶段睡眠与儿童执行功能之间存在着特殊的关联(Bernier, Carlson, Bordeleau, & Carrier, 2010; Bernier et al., 2013)。关于婴儿期和儿童早期的研究, 选择评估儿童哪些睡眠指标是非常重要的, 应从发展的视角选择能够体现特定的年龄阶段个体差异、有意义的睡眠指标或参数(Bernier et al., 2013; Dionne et al., 2011)。其中, 总睡眠时长(Total Sleep Duration)是最常用的睡眠指标之一。但研究发现, 睡眠总时长与婴儿期认知表现和儿童早期的认知能力表现不存在着显著的关联(Sadeh et al., 2002; Scher, 2005)。第二个衡量儿童早期睡眠质量的参数是夜间睡眠比例(The Proportion of Nighttime Sleep To Total Sleep)。随着儿童昼夜节律的建立, 睡眠时间逐渐整合到夜间, 有调查显示婴儿 6 个月时平均夜间睡眠比是 76%, 1 岁时上升到 83%, 2 岁时为 87% (Acebo et al., 2005)。夜间睡眠比是考察婴儿期和儿童早期阶段睡眠质量的一个重要的发展指标, 更高的夜间睡眠比, 意味着儿童拥有更成熟的睡眠−觉醒周期, 因此, 夜间睡眠比是儿童早期发展的高级生物行为组织的指标, 对执行功能有着更大的预测作用(Bernier et al., 2010; Bernier et al., 2013)。

例如, Bernier 等(2010)一项前瞻性研究发现, 在控制家庭社会经济地位和同时性的语言能力后, 12 和 18 个月大时的夜间睡眠比而非总睡眠时长能显著预测儿童 26 个月大时的执行功能, 尤其是冲动控制成分。2013 年, Bernier 等人将研究对象扩展到 1~4 岁得到了相同结果, 即在控制了家庭社会经济地位和之前的认知功能等变量之后, 儿童 1 岁时的夜间睡眠比能更好地预测儿童 4 岁时的执行功能, 夜间睡眠比越高的儿童其执行功能越好。由此, 有研究者认为, 午睡不一定改变儿童的总睡眠时长, 但改变了睡眠的时间分布和模式(Ward, Gay, Anders, Alkon, & Lee, 2008), Lam, Mahone, Mason 和 Scharf (2011)考察了学前儿童的午睡与神经认知功能的关系, 结果发现学前儿童神经认知功能的成绩随着午睡时间的增加而下降, 午睡较少的儿童在夜间睡眠时间充足的情况下并不会导致神经认知功能的下降, 该结果也强调夜间睡眠对学前儿童的重要性。这是因为, 夜间睡眠时间较长的儿童会出现更多的慢波睡眠(SWA), 慢波睡眠在调节皮质突触方面发挥着积极作用(Ringli & Huber, 2011), 从而促进新学习材料的整合(Lam et al., 2011)。因此夜间睡眠比越高, 婴儿和儿童的大脑成熟和执行功能的发展也就越好(Bernier et al., 2013)。此外, 儿童的睡眠安排受文化的影响。国外研究者认为, 3 岁以后夜间睡眠可以满足儿童生长发育的需要, 白天小睡会延迟儿童的夜间入睡时间, 不利于维持良好的夜间睡眠, 因此儿童白天基本不再小睡(Thorpe et al., 2015); 我国传统的观念认为, 午睡有助于消除儿童的疲劳, 保证下午精力充沛, 因此儿童一般具有午睡的习惯(王惠珊 等, 2006)。因此, 本研究第一个研究目的是考察我国儿童养育背景下, 睡眠总时长和夜间睡眠比究竟哪一个睡眠时间参数更能预测学前儿童的执行功能发展。

大样本的调查结果显示, 过去 10 年儿童的夜间睡眠时间下降很多(Matricciani, Olds, Blunden, Rigney, & Williams, 2012), 晚上电子设备的使用严重影响了儿童的睡眠时间和质量(Cain & Gradisar, 2010; Hardell, 2018; Vernon, Modecki, & Barber, 2018)。学前儿童也存在睡眠问题, 美国约 10%~20%的学前儿童存在着睡眠相关问题(Byars, Yolton, Rausch, Lanphear, & Beebe, 2012), 我国调查结果也显示超过 1/3 的学前儿童存在睡眠缺乏等问题(王广海, 2015)。相关调查发现, 27%的家长表示在

上学日让孩子起床是“困难的”, 41%的家长表示他们的孩子需要在周末补充睡眠(Becker, Pfiffner, Stein, Burns, & Mcburnett, 2016)。因此, 本研究拟以周末补偿睡眠(Catch-up Sleep)作为第三个睡眠指标, 考察周末补偿睡眠对学前儿童随后的执行功能的预测作用。以往有研究考察了周末补偿睡眠对学龄儿童执行功能或学业成绩的影响。如, 周末补偿睡眠与青少年执行功能的发展呈正相关, 周末补偿睡眠越多青少年的执行功能就越好(Kuula et al., 2015)。但我国研究者孙莞绮等(2012)的研究却发现, 周末补偿睡眠并不能改善学龄儿童睡眠质量和提高学业表现, 与睡眠缺乏一样对儿童的睡眠质量和学业表现都有不良影响。可见, 周末补偿睡眠对学龄儿童的影响存在不一致的结论。青少年由于其自身生理发育、学业压力繁重等原因, 睡眠节律相对延迟, 夜间入睡的时间较晚, 而白天觉醒的时间较早, 导致其普遍存在睡眠缺乏和周末补偿睡眠的现象(Kim et al., 2011)。以学前儿童为对象的相关研究也发现, 孩子周末的夜间睡眠时间更长, 即学前儿童存在周末补偿睡眠现象(Spruyt, Alaribe, & Nwabara, 2015)。因此, 本研究的第二研究目的是考察周末补偿睡眠对学前儿童高级神经认知功能的影响。

### 1.3 睡眠影响的差别易感性: 发展的取向或视角

发展取向或视角强调个体差异的重要性, 儿童对睡眠时间的需求存在着个体差异, 在发展的取向或视角下理解睡眠对儿童高级神经认知功能和神经行为学效应, 考察是否特定的儿童群体对某些睡眠问题或障碍的神经认知性损伤更具易感性, 是非常重要的(Turnbull, Reid, & Morton, 2013)。以成年人为被试的睡眠研究发现, 个体自身的气质能够调节睡眠限制与个体认知表现的关系(Rupp, Killgore, & Balkin, 2010)。气质是个体以特定方式表现的内在倾向性, 具有跨情境和跨时间的相对稳定性(Zentner & Bates, 2008)。有研究者试图从儿童气质–睡眠经验交互作用的视角, 探讨为什么一些孩子因为睡眠问题导致神经认知性损伤或问题行为, 另一些孩子则没有(Goodnight, Bates, Staples, Petit, & Dodge, 2007; Vermeulen et al., 2016)。如 Goodnight 等(2007)对 5~9 岁儿童进行了一项追踪研究, 结果发现努力控制能够调节儿童的睡眠问题和外化问题的关系, 睡眠问题与低努力控制儿童的外化问题行为存在更强的相关。差别易感性理论(Differential Susceptibility Model)可以解释儿童气质与环境的交互作用, 认为某些气质特征是个体自身的易感性指标, 调节着外部环境和个体经验对个体发展的影响, 具有这些气质特征的个体不仅更易受消极环境的不利影响, 同时也更易受积极环境的有利影响(Belsky, 2005)。消极情绪性(Negative Emotionality)是儿童典型的气质特征之一, 是指儿童表达消极情绪(如, 恐惧和愤怒等)的频率和强度。高消极情绪性的儿童易紧张、难安抚, 对新异刺激表现消极(Hartz & Williford, 2015)。高消极情绪性的儿童有着更敏感的中枢神经系统, 更容易记录自身的经验(Boyce & Ellis, 2005), 因此高消极情绪性是个体发展的易感性指标之一。有研究发现, 高消极情绪性儿童更容易受到高母亲敏感性的有利影响, 同时也更易受到低母亲敏感性的不利影响(Conway, Modrek, & Gorroochurn, 2017), 即家庭环境是以更好或更坏的方式影响着高消极情绪性儿童, 符合差别易感性理论假说。间接的证据显示, 迷走神经张力较低(高消极情绪性的生理指标之一)的儿童对睡眠缺乏的消极影响更敏感(El-Sheikh, Erath, & Keller, 2007)。Cremone 等人(2018)考察了儿童的消极情绪性与入睡时间和睡眠中点(Sleep Midpoint)对学前儿童内化和外化问题行为的共同作用, 结果发现高消极情绪性学前儿童在更晚入睡或者更晚的睡眠中点时, 会表现出更多的内化和外化行为问题。但该研究是在同一个时间点测量儿童的睡眠时间指标和内外化行为问题, 变量之间的横断关系并不能推断这些变量之间相互关联的方向和排除大量的第三变量解释的可能性(Bernier et al., 2013), 同时也没有在差别易感性的理论视角下分析学前儿童的消极情绪性与睡眠时间参数对学前儿童问题行为的共同作用。因此, 本研究的第三个研究目的是在差别易感性理论的发展取向或视角下, 考察睡眠时间参数对学前儿童执行功能的差异化影响。

### 1.4 本研究的目的和假设

综上, 本研究拟以儿童的消极情绪性为气质指标, 从儿童气质–睡眠经验交互作用的差别易感性的发展视角下, 通过短期追踪研究的范式考察总睡眠时长、夜间睡眠比和周末补偿睡眠三个睡眠时间参数对学前儿童随后的执行功能的滞后效应, 进一步考察儿童消极情绪性对二者关系的调节作用。运用最新的显著性区域分析法(Roisman et al., 2012)考察睡眠时间参数对学前儿童高级神经认知功能的差异化影响, 这不仅仅是当前国内外发展心理学的研究热点和儿童发展领域的重要理论问题, 也是儿

童养育实践中的重要转化性问题，澄清这一问题可以帮助我们更好地理解“对哪些儿童采取哪种睡眠安排模式”可以促进他们高级神经认知功能发展。基于上述的文献，我们预期：(1)相对于总睡眠时长，夜间睡眠比对学前儿童的执行功能具有更大的预测力；(2)儿童的消极情绪性可以调节睡眠时间参数对学前儿童随后执行功能的预测作用，睡眠时间参数对不同消极情绪性的学前儿童存在着差异化的影响效应。

## 2 研究方法

### 2.1 研究对象

以北京市某幼儿园大班自愿参加本研究的母亲和儿童为研究对象，在第一次收集数据时(T1) 86 个家庭的母亲参与问卷填写和睡眠时间记录。为了保证数据收集的有效性，班主任每天早上 7 点、晚上 8 点和周末中午 1 点通过微信群提醒家长完成当天的睡眠时间记录，主试每天定时提醒班主任以免发生遗漏。根据以往研究中的惯例，睡眠日志不少于 5 天为有效数据(Meltzer, Montgomery-Downs, Insana, & Walsh, 2012; Philbrook, Hinnant, Elmore-staton, Buckhalt, & El-sheikh, 2017)。在本研究中，8 名被试未能完成 5 天以上的睡眠日志，因此在第二个时间点收集儿童的执行功能的数据时将其剔除，最后纳入本研究数据分析的 78 名被试(男孩 53 名)均完成了 7 天的睡眠时间记录，$M_{年龄}$ = 6.31 岁，$SD$ = 0.35 岁，所有儿童均无色盲、不存在医学诊断中的重大身心疾病。20.5%母亲有硕士及以上学位，74.3%拥有大专以上学位，5.2%高中及以下。31.1%父亲拥有硕士及以上学位，64.8%拥有大专及以上学位，4.1%高中及以下。5.1%家庭月收入低于 6000 元，12.8%在 6000~10000 元，60.2%在 10000~20000 元之间，21.9%月收入大于 20000 元。

### 2.2 研究工具

#### 2.2.1 睡眠时间参数的测量

睡眠日志法是一种广泛用于婴幼儿睡眠研究的非侵入式措施(Bernier et al., 2010; Ward et al., 2008)。睡眠日志通过父母在 24 小时时间线上记录儿童的睡眠模式，要求详细记录儿童所有的睡眠与觉醒时间，包括白天小睡和夜间醒来的次数和时间。本研究由母亲采用睡眠日志法报告儿童一周的睡眠，得到的睡眠时间参数及计算方式如下(Kuula et al., 2015)：

平时夜间睡眠时间 = 平时早晨醒来的时间−平时晚上睡着的时间

周末夜间睡眠时间 = 周末早晨醒来的时间−周末晚上睡着的时间

平均夜间睡眠时间 = (平时睡眠时间×5+周末睡眠时间×2) / 7

平均白天睡眠时间 = (平时白天睡眠时间×5+周末白天睡眠时间×2) / 7

总睡眠时长 = 平均夜间睡眠时间+平均白天睡眠时间

夜间睡眠比 = 平均夜间睡眠时间/(平均夜间睡眠时间+平均白天睡眠时间)

周末补偿睡眠 = 周末夜间睡眠时间−平时夜间睡眠时间。

#### 2.2.2 消极情绪性的测量

采用 Rothbart 等人(2006)编制的儿童行为问卷(Children’s Behavior Questionnaire, CBQ)中文修订版简版的消极情绪性子量表，包括 12 个条目，由母亲依据儿童日常行为与问卷题目描述的相符程度进行评分，采用 7 点计分，1~7 代表从“完全不符合”到“完全符合”，得分越高说明儿童的消极情绪性越高，本研究中的内部一致性系数为 0.74。

#### 2.2.3 执行功能的测查

选用美国国立卫生研究院开发的一套标准、有效的评估工具(National Institutes of Health Toolbox, NIH Toolbox)测量儿童的执行功能。该工具采用 iPad Air (9.7 寸)进行实施，包括侧抑制控制和注意任务、标准卡片分类任务、工作记忆排列测试三个任务，总时间约为 30 min，得分依据儿童的反应时和正确率，且与该年龄阶段的常模对比后自动生成。

侧抑制控制和注意任务(Flanker Inhibitory Control and Attention Test)测量被试的注意和抑制控制，需要被试注意所给予的刺激，同时抑制其侧边的其他刺激。对 3~7 岁儿童来说，我们会进行 4 次练习，接着在第一阶段他们将先看到 1 条带有箭头的小鱼，左右两边各有 2 条小鱼干扰，中间的目标小鱼与侧边的小鱼身上箭头的方向一致或不一致，儿童需跟根据中间小鱼身上的箭头进行选择，见图 1。20 次测试后正确率达到 90%的儿童会进入第二阶段，小鱼消失，儿童只会看到一些抽象的箭头，同样进行 20 次测试。

标准卡片分类任务(Dimensional Change Card Sort Test, DCCS)测量认知灵活性，儿童看到两张在两个维度上不同的(如形状、颜色)目标图片，接着儿童从接下来呈现的一系列图片中选择跟目标

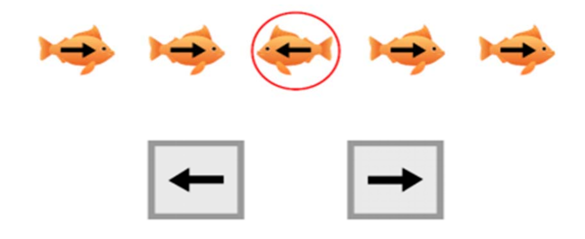


图 1　Flanker 任务示例图

图片维度匹配的图片(如黄色小球和蓝色卡车), 先根据其中一个维度分类(颜色), 经过几次测试后根据另一维度分类(形状)。在每一张目标图片出现时, 主试会用声音提醒儿童是按照形状还是颜色进行分类, 见图 2。正式实验开始前儿童会得到 4 次(每个维度 2 次)指导, 每次 5 个测试, 确保他们明白游戏规则, 开始之后 30 个测试。

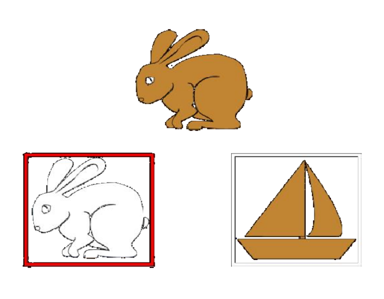


图 2　DCCS 测试示例图

工作记忆排列测试(List Sorting Working Memory Test)需要儿童按序列回忆不同的视觉和听觉刺激, 屏幕上出现不同的食物和动物, 主试会同时告知儿童这是什么, 屏幕上也会出现相应的文字, 当物品消失后, 被试需要告诉主试这些东西都是什么, 按由小到大固定顺序回忆, 见图 3。第一阶段, 被试需要按物品的类别进行回忆(要么食物要么动物), 回忆数量由 2 个开始, 难度逐渐增加到 7 个或儿童在该难度上错误 2 次则停止; 第二阶段, 被试能看到食物和动物的图片, 并需要先回忆食物再回忆动物, 且都要按由小到大的顺序进行回忆, 难度同样由 2 个到 7 个。两个阶段被试都有 2 次练习的机会。

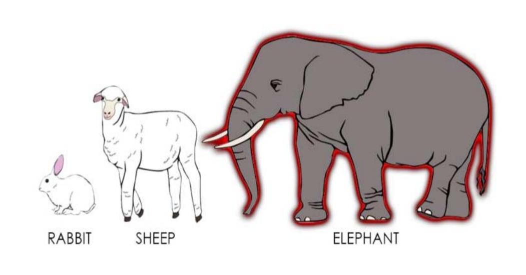



图 3　工作记忆排列测试示例图

#### 2.2.4　语言发展的测量(PPVT)

采用皮博迪图片词汇测验第三版(Peabody Picture Vocabulary Test, PPVT)翻译版评估儿童的语言发展, PPVT 主要用于测量儿童的理解性词汇发展, 由若干张 4 幅图片的图板组成, 测验时主试口头说出一个词汇, 儿童根据词义在 4 幅图片中找出与词义一致的图片。回答正确记 1 分, 错误记 0 分, 每组有 12 个词汇, 错 8 个则停止施测, 以最后一题作为顶点分, 实际语言发展得分为顶点分减去错误个数。施测时间约 40 min, 该测验具有良好的信效度, 被广泛运用于语言发展的评估。由于儿童语言发展好, 对任务的指导语的理解程度越高, 在执行功能测量中的表现可能会更好, 因此将儿童的同时性语言发展作为控制变量。

### 2.3　研究程序

本研究分两个阶段进行: 第一阶段, 在 T1 时间点由母亲填写家庭基本情况调查表、记录儿童 7 天的睡眠时间和儿童行为问卷, 问卷由老师统一发放和收回。

第二阶段, 在 T2 时间点(间隔 3 个月后)由 3 名经过严格培训的研究生采用一对一的形式测试儿童的执行功能和语言能力, 整个过程约需要 50~60 min。为了保证儿童处于较好的精神状态, 所有测试均在上午 9 点到 11 点之间进行。测试结束后, 给每个儿童发放小礼物, 表示感谢。

### 2.4　数据分析

本研究使用 SPSS 17.0 统计软件进行数据分析。在初步分析中, 计算儿童睡眠时间的各参数及执行功能各成分的平均数和标准差, 并计算了各变量间的相关。

接着, 采用分层回归分析法检验学前儿童睡眠时间参数与消极情绪性对儿童执行功能各成分的交互效应。首先, 检验性别×睡眠时间参数×消极情绪性和年龄×睡眠时间参数×消极情绪性的三重交互效应, 结果表明三交互项的预测作用均不显著($p > 0.05$), 因此, 在结果分析部分我们只重点分析睡眠时间参数×消极情绪性的双重交互效应。

最后, 采用 Roisman 等(2012)提出的显著性区域检验法(Analysis of Region of Significance, RoS)进一步检验双重交互作用是否符合差别易感性模型。显著性区域检验法具有以下优势: 第一, 考虑的是当自变量与因变量关联显著时, 调节变量的所有取值。若在环境变量取值较高或较低时, 不同个体在环境变量上都存在显著差异, 则符合差别易感

性模型；第二，为了避免样本量对结果造成的影响，Rosiman 提出两个不受样本量影响且可以量化交互效应的指标：PoI (Proportion of Interaction)和 PA (Proportion Affect)。PoI 指数表示在交互作用区域中与差别易感性相符合的比例，计算公式为 b/(b+w) (b 指在积极环境条件下的积极发展结果的比例，w 则表示在消极环境条件下的消极发展结果的比例)。PA 指数表示受到良好交互效应影响的被试百分比，当 PoI 接近 0.5 时，PA 值≥16%时符合差别易感性模型。第三，采用顺序性 Bonferroni 检验对显著性水平 $p$ 值进行多重矫正，防止 I 类错误的风险过高；第四，通过检验二次项 $X^2$、$ZX^2$ 对 Y 是否具有显著的预测作用来检验变量之间是否存在非线性关系。如果结果显著则说明存在非线性关系，需要进一步控制 $X^2$、$ZX^2$，再检验交互项 ZX 的显著性。

## 3 结果分析

### 3.1 初步分析

初步分析发现，学前儿童平均每天的总睡眠时长为 10.23 ± 0.56 (h)，平均夜间睡眠时长为 9.20 ± 0.47(h)，夜间睡眠比为 0.90 ± 0.03，平时夜间睡眠时长为 9.11 ± 0.50 (h)，周末夜间睡眠时长为 9.42 ± 0.57 (h)，平时夜间睡眠时长与周末夜间睡眠时长的差异非常显著($t(154) = -3.58$, $p < 0.001$, *Cohen's* $d = 0.57$)，周末补偿睡眠为 0.31 ± 0.47 (h)。对各变量进行相关分析，结果见表 1。总睡眠时长与执行功能的三个成分相关均不显著，夜间睡眠比与执行功能各成分间相关显著($r_{抑制控制} = 0.43$, $r_{认知灵活性} = 0.32$, $r_{工作记忆} = 0.31$, $ps < 0.01$)，周末补偿睡眠与执行功能的三个子成分相关边缘显著($r_{抑制控制} = 0.21$, $r_{认知灵活性} = 0.21$, $r_{工作记忆} = 0.21$, $ps = 0.07$)。儿童的语言发展得分与认知灵活性和工作记忆相关显著($r_{认知灵活性} = 0.31$, $p < 0.01$; $r_{工作记忆} = 0.25$, $p < 0.05$)。后续的数据分析中将儿童的语言发展作为控制变量。

### 3.2 主要分析：分层回归分析

分别以儿童执行功能的抑制控制、认知灵活性和工作记忆为结果变量，睡眠时间各参数指标为预测变量进行分层回归分析。其中，将儿童同时性的语言发展得分作为控制变量放入第一层，将各睡眠时间参数和消极情绪性放入第二层，将消极情绪性×睡眠时间各参数指标的交互项放入第三层。为避免产生多重共线性问题，在进行分层回归之前对各变量进行中心化处理，分层回归结果见表 2。

在控制儿童同时性的语言发展得分之后，夜间睡眠比可以显著地正向预测学前儿童三个月后的执行功能的三个成分($\beta_{抑制控制} = 0.44$, $p < 0.01$; $\beta_{认知灵活性} = 0.32$; $p < 0.01$; $\beta_{工作记忆} = 0.31$, $p < 0.01$)，即学前儿童的夜间睡眠在总睡眠时长中所占比例越高，儿童执行功能的三个子成分发展越好；学前儿童的总睡眠时长($\beta_{抑制控制} = 0.13$, $p > 0.05$; $\beta_{认知灵活性} = 0.11$, $p > 0.05$; $\beta_{工作记忆} = 0.10$, $p > 0.05$)和周末补偿睡眠

**表 1 各变量的描述性统计与相关分析($N = 78$)**

| 变量 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 年龄 | 1 | | | | | | | | | | | |
| 2 母亲受教育程度 | 0.04 | 1 | | | | | | | | | | |
| 3 父亲受教育程度 | 0.01 | 0.64** | 1 | | | | | | | | | |
| 4 家庭月收入 | 0.09 | 0.26* | 0.24* | 1 | | | | | | | | |
| 5 语言发展得分 | 0.23* | 0.16 | 0.25* | 0.19 | 1 | | | | | | | |
| 6 总睡眠时长 | 0.02 | 0.05 | 0.16 | 0.16 | 0.20 | 1 | | | | | | |
| 7 夜间睡眠比 | 0.03 | −0.22 | −0.03 | −0.09 | 0.02 | −0.32** | 1 | | | | | |
| 8 周末补偿睡眠 | 0.10 | 0.05 | 0.13 | −0.11 | 0.08 | −0.16 | 0.18 | 1 | | | | |
| 9 消极情绪性 | −0.05 | 0.10 | 0.26* | 0.07 | 0.17 | 0.13 | −0.02 | 0.22 | 1 | | | |
| 10 抑制控制 | −0.04 | −0.08 | 0.05 | −0.01 | 0.15 | −0.02 | 0.43** | 0.21# | 0.05 | 1 | | |
| 11 认知灵活性 | −0.02 | −0.06 | 0.02 | −0.04 | 0.31** | 0.03 | 0.32** | 0.21# | 0.03 | 0.54** | 1 | |
| 12 工作记忆 | −0.00 | 0.04 | 0.03 | 0.07 | 0.25* | 0.02 | 0.31** | 0.21# | 0.09 | 0.63** | 0.40** | 1 |
| *M* | 6.31 | 5.87 | 6.07 | 5.38 | 144.59 | 10.23 | 0.90 | 0.31 | 4.15 | 7.40 | 6.63 | 422.78 |
| *SD* | 0.35 | 0.90 | 0.80 | 1.12 | 33.99 | 0.56 | 0.03 | 0.47 | 0.74 | 0.66 | 0.83 | 37.24 |

注：*表示 $p < 0.05$, **表示 $p < 0.01$, #表示 $p < 0.10$。

**表 2　学前儿童消极情绪性与睡眠时间各参数变量对执行功能的分层回归分析($N$ = 78)**

| 变量 | 抑制控制 | | | 认知灵活性 | | | 工作记忆 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\beta$ | $\Delta R^2$ | $\Delta F$ | $\beta$ | $\Delta R^2$ | $\Delta F$ | $\beta$ | $\Delta R^2$ | $\Delta F$ |
| 第一层 | | | | | | | | | |
| 语言发展得分 | 0.15 | 0.01 | 1.64 | 0.31 | 0.10** | 8.28** | 0.25* | 0.06* | 4.85* |
| 第二层 | | | | | | | | | |
| 总睡眠时长 | 0.13 | | | 0.11 | | | 0.10 | | |
| 夜间睡眠比 | 0.44** | 0.21** | 4.92** | 0.32** | 0.13** | 2.99* | 0.31** | 0.12* | 2.84* |
| 周末补偿睡眠 | 0.15 | | | 0.16 | | | 0.16 | | |
| 消极情绪 | −0.01 | | | −0.06 | | | 0.01 | | |
| 第三层 | | | | | | | | | |
| 消极情绪性×总睡眠时长 | 0.18 | | | 0.20 | | | 0.13 | | |
| 消极情绪性×夜间睡眠比 | −0.06 | 0.12** | 4.24** | −0.10 | 0.10** | 3.50* | 0.01 | 0.10** | 3.05* |
| 消极情绪性×周末补偿睡眠 | 0.35** | | | 0.29* | | | 0.30* | | |

注: *表示 $p < 0.05$, **表示 $p < 0.01$。

($\beta_{抑制控制}$ = 0.15, $p > 0.05$; $\beta_{认知灵活性}$ = 0.16, $p > 0.05$; $\beta_{工作记忆}$ = 0.16, $p > 0.05$)对执行功能各成分的预测作用不显著。

交互效应分析发现, 周末补偿睡眠与消极情绪性的交互项在预测执行功能的三个成分时均显著($\beta_{抑制控制}$ = 0.35, $p < 0.01$; $\beta_{认知灵活性}$ = 0.29, $p < 0.05$; $\beta_{工作记忆}$ = 0.30, $p < 0.05$), 这说明学前儿童的消极情绪性可以调节周末补偿睡眠对他们执行功能各子成分发展的影响。但是, 消极情绪性与总睡眠时长($\beta_{抑制控制}$ = 0.18, $p > 0.05$; $\beta_{认知灵活性}$ = 0.20, $p > 0.05$; $\beta_{工作记忆}$ = 0.13, $p > 0.05$)及消极情绪性与夜间睡眠比($\beta_{抑制控制}$ = −0.06, $p > 0.05$; $\beta_{认知灵活性}$ = −0.10, $p > 0.05$; $\beta_{工作记忆}$ = 0.01, $p > 0.05$)的交互效应均不显著。

### 3.3　模型检验: 显著性区域检验

采用显著性区域检验法(Roisman et al., 2012)检验周末补偿睡眠与学前儿童消极情绪性的交互作用模式是否符合差别易感性模型。如表 3 和图 4 所示, 当抑制控制作为结果变量时: (1)周末补偿睡眠的显著性区域下边界为−0.71, 上边界为 0.70, 表明当周末补偿睡眠少于−0.71 时, 高消极情绪性比低消极情绪性儿童表现出更差的抑制控制, 当周末补偿睡眠多于 0.70 时, 高消极情绪性儿童比低消极情绪性儿童表现出更好的抑制控制, 且显著区间介于 $M \pm 2\ SD$ 范围内。(2) PoI 指数为 0.51, 表明良好交互效应的百分比为 51%, 较差交互效应的百分比为 49%; PA 指数为 0.51, 表明 51%学前儿童受到良好交互效应的影响, 49%学前儿童受到较差交互效应的影响。(3) $X^2$ 与 $ZX^2$ 对儿童抑制控制的预测作用不显著, 表明变量间不存在非线性关系。(4)当采用顺序性 Bonferroni 检验对 $p$ 值进行多重矫正后, 上述交互作用依然显著。

如表 3 和图 5 所示, 以认知灵活性为结果变量: (1)周末补偿睡眠的显著区间下边界为−0.64, 上边界为 1.55, 表明当儿童周末补偿睡眠少于−0.64 时, 高消极情绪性儿童的认知灵活性显著低于低消极情绪性儿童, 当周末补偿睡眠多于 1.55 时, 高消极情绪性儿童比低消极性情绪儿童表现出更高的认知灵活性, 显著区间介于 $M \pm 2\ SD$ 范围内。(2) PoI 值为 0.42, PA 指数大于 16%。(3) $X^2$ 与 $ZX^2$ 对学前儿童认知灵活性的预测作用不显著。(4)采用

**表 3　RoS 法检验消极情绪性和周末补偿睡眠交互作用的统计指标($N$ = 78)**

| 结果 | RoS X | | PoI | PA | 交叉点 | $X^2$ 与 $ZX^2$ | $P(i)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 下边界 | 上边界 | | | | | |
| 抑制控制 | | | | | | | |
| 消极情绪性×周末补偿睡眠 | −0.71 | 0.70 | 0.51 | 0.51 | −0.03 | *Ns* | 0.02 |
| 认知灵活性 | | | | | | | |
| 消极情绪性×周末补偿睡眠 | −0.64 | 1.55 | 0.42 | 0.44 | 0.16 | *Ns* | 0.02 |
| 工作记忆 | | | | | | | |
| 消极情绪性×周末补偿睡眠 | −1.17 | 0.79 | 0.56 | 0.55 | −0.12 | *Ns* | 0.02 |

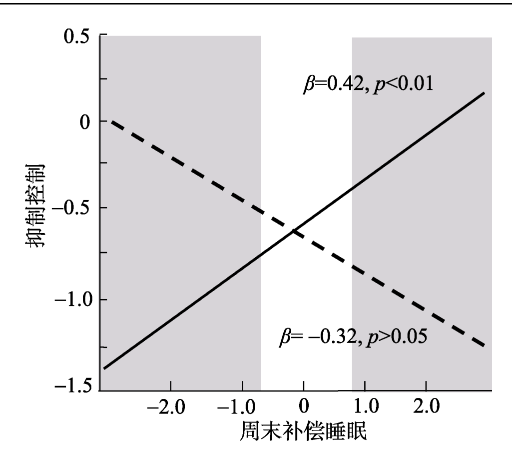



图 4 周末补偿睡眠对学前儿童抑制控制的线性回归

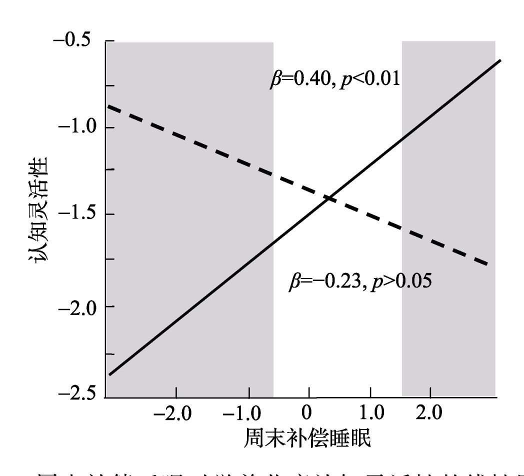



图 5 周末补偿睡眠对学前儿童认知灵活性的线性回归

Bonferroni 多重矫正后，上述交互作用依然显著。

如表 3 和图 6 所示，以工作记忆为结果变量，(1)周末补偿睡眠的下边界和上边界分别为−1.17 和 0.79，表明当周末补偿睡眠少于−1.17 时，高消极情绪性比低消极情绪性儿童表现出更差的工作记忆，当周末补偿睡眠多于 0.79 时，高消极情绪性儿童比低消极情绪性儿童表现出更好的工作记忆，显著区间介于 $M \pm 2\ SD$ 范围内。(2) PoI 指数为 0.56，PA 指数为 0.55。(3)变量间不存在显著的非线性关系。(4)消极情绪性与周末补偿睡眠对学前儿童的交互作用经过多重矫正后依然显著。综上，消极情绪性对周末补偿睡眠与执行功能三个指标的调节效应均符合差别易感性模型，即高消极情绪性儿童更容易受周末补偿睡眠的影响，从而表现出更好或更差的执行功能。

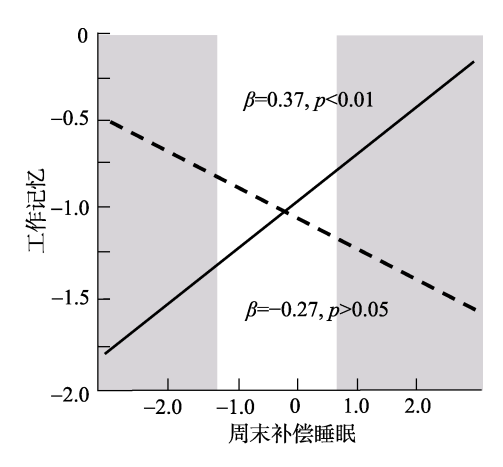



图 6 周末补偿睡眠对学前儿童工作记忆的线性回归

## 4 讨论

如何对儿童实施科学、有效而积极的睡眠安排，是儿童心理学工作者和家长教师共同关注的问题之一，本研究从儿童气质−睡眠经验交互作用的发展性视角，考察了学前儿童不同的睡眠时间参数和消极情绪性对随后的执行功能发展的共同作用。本研究的描述性结果显示，学前儿童的总睡眠时长为 10.23 ± 0.56 h，该结果与国内其他同年龄段儿童总睡眠时长的研究结果 10.6 ± 1.55 h (蔡益民，易著文，黄辉，李介民，罗雪梅，2008)基本一致，低于同年龄段国外儿童 11.13 ± 0.63 h 的平均总睡眠时长(Pattinson, Smith, Staton, Trost, & Thorpe, 2018)。本研究中学前儿童的夜间睡眠比为 0.90 ± 0.03，这说明学前阶段儿童的睡眠时间逐渐向夜间整合的趋势(Davis, Parker, & Montgomery, 2004)。此外，本研究结果还发现儿童的周末补偿睡眠时间为 0.31 ± 0.47 h，周末夜间睡眠时间显著长于平时夜间睡眠时间，赵雪妮，张纪华，赵浦，李鹏程，袁迅玲(2014)的研究结果也显示学前儿童周末睡眠时间比平时多 0.53 h。

本研究发现，夜间睡眠比而非总睡眠时长对执行功能三个成分具有显著的预测作用，这一结果与国外相关研究的结果是一致的。例如，Dionne 等(2011)的研究发现，夜间睡眠所占的比例与儿童随后的语言认知能力相关性更强，而不是睡眠时间的单独成分(夜间或白天睡眠时长)。一项前瞻性的追踪研究发现，在控制了家庭社会经济地位和同时性语言能力之后，儿童 12 和 18 个月时的夜间睡眠比而非总睡眠时长可以显著地预测儿童 26 个月大的执行功能，尤其是冲动控制成分，该结果说明夜间睡眠的比例越高，儿童的执行功能表现越好(Bernier et al., 2013)。为什么夜间睡眠比而不是总睡眠时长对儿童执行功能的三个子成分发展具有更大的预测力？这可能与儿童的睡眠逐渐成熟有关，大脑发育的早期成熟和昼夜节律的调节使得儿童逐渐适应昼夜交替，最终将睡眠整合到夜间阶段，

从而白天睡眠时间减少夜间睡眠比例增大，这是年幼儿童睡眠−觉醒状态组织更加成熟的标志(Anders, Sadeh, & Appareddy, 1995)，因此夜间睡眠比是儿童早期发展的高级生物行为组织的指标，可以更好地体现儿童早期阶段睡眠模式的个体差异，是考察婴儿期和儿童早期阶段睡眠质量的一个重要的发展指标(Bernier et al., 2013; Dionne et al., 2011)。同时，这种在婴儿期和童年早期形成的成熟的睡眠模式可能会促进儿童的学习能力和大脑发展。例如，研究表明成熟的夜间睡眠可能是由更多的慢波活动(SWA)构成的，而慢波活动有助于皮质成熟，在皮质突触强度的调整中可能发挥着积极作用(Ringli & Huber, 2011)，从而更有益于与学习和整合有关的大脑可塑性，在婴儿期和儿童早期大脑的成熟和执行功能的发展中发挥着重要作用。因此，对本研究中的儿童来说，他们大脑的组织成熟和睡眠−觉醒状态组织成熟或许更适合完成执行功能这种复杂的组织任务。此外，白天小睡会减少夜间的睡眠时长，因此这些孩子可能会在晚上睡的更少，因为白天的睡眠减少了夜间睡眠的需求，或者晚上睡眠较少的儿童因为睡眠不足，需要白天小睡(Thorpe et al., 2015)。

本研究还发现，学前儿童的平时平均夜间睡眠与周末平均夜间睡眠存在显著差异，即存在周末补偿睡眠，但回归分析发现周末补偿睡眠对儿童执行功能的预测力不显著，这与 Kuula 等人(2015)以学龄阶段的青少年为研究对象的研究结果是不一致的，他们的研究发现周末补偿睡眠与青少年执行功能的发展呈正相关关系，周末补偿睡眠越多青少年的执行功能表现越好。导致本研究的结果与 Kuula 等人(2015)研究结果不一致的原因可能有以下两个。一个原因是 Kuula 等人的研究对象是青少年，青少年的睡眠模式与儿童时期相比会发生一定的变化，包括睡眠相对延迟以及周末补充睡眠现象较为普遍(Becker et al., 2016)。个体进入青春期后，睡眠的生物节律有所延迟。与年幼儿童相比，青少年夜间入睡时的生理睡眠压力提升速度较慢，释放褪黑素的时间也相对较迟，因此青少年的睡眠潜伏期也相应延长，入睡的时间较晚(Carskadon, 2011; Owens, 2014)。此外，青少年由于平时学校作息、课业压力、使用电子产品等原因，夜间睡眠时间缩短。周末补偿睡眠多发生在睡眠不足的学龄儿童和青少年群体中，用以弥补平时的睡眠不足(Becker et al., 2016; Kim et al., 2011; Seo et al., 2010)。本研究中的学前儿童正处于向小学过渡阶段，学业压力相对来说比较小，从而周末需要的补偿睡眠量相对平时来说并不明显，因此导致周末补偿睡眠对学前儿童执行功能的零主效应的现象。另一个原因是学前儿童的周末补偿睡眠与其随后执行功能的关系可能会受儿童自身某种因素的调节，从而掩盖了它们之间的联系。本研究发现，儿童的消极情绪性对周末补偿睡眠与执行功能的三个成分存在着调节作用，当儿童周末补偿睡眠较少时，高消极情绪性儿童的执行功能更差，当周末补偿睡眠较多时，高消极情绪性儿童的执行功能更好，但对低消极情绪性儿童来说，周末补偿睡眠的多少对其执行功能三个子成分的影响差异不显著，即高消极情绪性儿童更容易受到周末补偿睡眠积极或消极的影响，该结果支持了差别易感性模型，说明消极情绪性是儿童自身的易感性指标，这与以往关于消极情绪性和其他家庭环境因素相互作用的结果一致(Hentges, Davies, & Cicchetti, 2015; Morgan, Shaw, & Olino, 2012; Pluess & Belsky, 2009; 高鑫，丁碧蕾，冯姝慧，邢淑芬，2018)，消极情绪性儿童往往具有低适应性、易怒和低情绪调节等特征，这些特征可能是儿童应对环境刺激时神经系统的一般高度敏感性的指示器(Pluess & Belsky, 2009)，由于自身的更敏感的中枢神经系统，更容易记录自身的经验(Boyce & Ellis, 2005)，使得他们不仅容易受低周末补偿睡眠的不利影响，同时也更容易从更多的周末补偿睡眠睡眠安排中受益。

本研究从儿童气质−睡眠经验的发展性视角，考察了学前儿童的总睡眠时长、夜间睡眠比和周末补偿睡眠三个睡眠时间指标对儿童执行功能发展的滞后效应，并探讨了睡眠对不同消极情绪性儿童的差异化影响。本研究结果提示我们，夜间睡眠比对不同消极情绪性儿童的执行功能发展都是非常重要的，成熟的睡眠−觉醒周期训练对儿童早期发展来说是极其重要的；周末补偿睡眠对高消极情绪性学前儿童的执行功能发展具有更积极的预测作用。该研究结果不仅丰富和拓展了该领域的研究，同时也为我国儿童科学、有效的睡眠安排提供了心理学实证研究的证据。但本研究仍存在以下不足和未来研究的方向：第一，关于睡眠的测量方法单一。母亲报告法相比于微型活动记录仪(ActiGraph)和多导睡眠图(Polysomnography, PSG)等客观睡眠时间测量法简单易行，但得到的数据不如客观睡眠测量方法精确，未来研究可以采用客观方法精确地观

测儿童的睡眠时间各参数指标。第二，本研究从个体发展性的取向和视角，考察不同睡眠时间参数对不同消极情绪性儿童的差异化影响，发展性取向需要研究者识别更多的对睡眠问题的风险因素或保护性因素，未来需要更多研究去识别和考察睡眠时间参数和儿童高级神经认知功能之间关系的调节因素(Turnbull et al., 2013)。第三，本研究在考察儿童睡眠时间参数对学前儿童三个月后执行功能发展的长期影响时，未考虑到近期睡眠状况对儿童执行功能产生的即时影响。在未来研究中，我们将执行功能测量前儿童的睡眠状况作为控制变量加以控制，进一步完善研究设计。第四，本研究仅仅考察了睡眠时间的高级神经认知功能，未来研究需要从神经水平考察睡眠问题与执行功能之间的内在神经生理机制，以便可以得出一个解释睡眠影响个体认知和行为发展路径的理论模型。如，已有研究发现睡眠问题可能降低神经元可塑性，降低神经元对外界环境刺激反应的范围(Turnbull et al., 2013)。最后，采用母亲日志的方法导致本研究的样本量较小，且大多数来自于北京地区社会经济地位较高的家庭，有研究显示家庭社会经济地位影响着儿童的睡眠模式与儿童发展之间的关系(El-Sheikh et al., 2013)，未来的研究可以采用更大的、更多样化的学前儿童被试群体进行重复性研究，以便得出更稳定、更具可推广性的研究结论。

## 参 考 文 献


Acebo, C., Sadeh, A., Seifer, R., Tzischinsky, O., Hafer, A., & Carskadon, M. A. (2005). Sleep/wake patterns derived from activity monitoring and maternal report for healthy 1- to 5-year-old children. *Sleep, 28*(12), 1568–1577.

Anders, T. F., Sadeh, A., & Appareddy, V. (1995). Normal sleep in neonates and children. In R. Ferber & M. Kryger (Eds.), *Principles and practice of sleep medicine in the child* (pp. 7–18). Philadelphia: W. B. Saunders Company.

Becker, S. P., Pfiffner, L. J., Stein, M. A., Burns, G. L., & Mcburnett, K. (2016). Sleep habits in children with attention-deficit/hyperactivity disorder predominantly inattentive type and associations with comorbid psychopathology symptoms. *Sleep Medicine*, *21*, 151–159.

Belsky, J. (2005). Differential susceptibility to rearing influences: An evolutionary hypothesis and some evidence. In B. J. Ellis & D. F. Bjorklund (Eds.), *Origins of the social mind: Evolutionary psychology and child development* (pp. 139–163). New York. NY: Guildford.

Bernier, A., Beauchamp, M. H., Bouvette-turcot, A-A., Carlson, S. M., & Carrier, J. (2013). Sleep and cognition in preschool years: Specific links to executive functioning. *Child Development, 84*(5), 1542–1553.

Bernier, A., Carlson, S. M., Bordeleau, S., & Carrier, J. (2010). Relations between physiological and cognitive regulatory systems: Infant sleep regulation and subsequent executive functioning. *Child Development, 81*(6), 1739–1752.

Boyce, W. T., & Ellis, B. J. (2005). Biological sensitivity to context: I. An evolutionary-developmental theory of the origins and functions of stress reactivity. *Development and Psychopathology*, *17*(2), 271–301.

Bub, K. L., Buckhalt, J. A., & El-sheikh, M. (2011). Children's sleep and cognitive performance: A cross-domain analysis of change over time. *Developmental Psychology, 47*(6), 1504–1514.

Buckhalt, J. A., El-Sheikh, M., Keller, P. S., & Kelly, R. J. (2009). Concurrent and longitudinal relations between children's sleep and cognitive functioning: The moderating role of parent education. *Child Development, 80*(3), 875–892.

Byars, K. C., Yolton, K., Rausch, J., Lanphear, B., & Beebe, D. W. (2012). Prevalence, patterns, and persistence of sleep probblems in the first 3 years of life. *Pediatrics, 129*(2), e276–e284.

Cai, Y-M., Yi, Z.-W., Huang, H., Li, J-M., & Luo, X-M. (2008). Epidemiological investigation of sleep disorders for children at ages of 2-12 years in Changsha City. *Chinese Journal of Contemporary Pediatrics, 10*(3), 353–356.

[蔡益民，易著文，黄辉，李介民，罗雪梅. (2008). 长沙市2~12岁儿童睡眠障碍流行病学调查. *中国当代儿科杂志, 10*(3), 353–356.]

Cain, N., & Gradisar, M. (2010). Electronic media use and sleep in school-aged children and adolescents: A review. *Sleep Medicine, 11*(8), 735–742.

Carskadon, M. A. (2011). Sleep in adolescents: The perfect storm. *Pediatric Clinics of North America*, *58*(3), 637–647.

Conway, A., Modrek, A., & Gorroochurn, P. (2017). Maternal sensitivity predicts fewer sleep problems at early adolescence for toddlers with negative emotionality: A case of differential susceptibility. *Child Psychiatry & Human Development*, *49*(1), 1–14.

Cremone, A., de Jong, D. M., Kurdziel, L. F., Desrochers, P., Sayer, A., LeBourgeois, M. K., ... McDermott, J. M. (2018). Sleep tight, act right: Negative affect, sleep and behavior problems during early childhood. *Child Development*, *89*(2), e42–e59.

Curcio, G., Ferrara, M., & De Gennaro, L. (2006). Sleep loss, learning capacity and academic performance. *Sleep Medicine Reviews, 10*(5), 3–27.

Dahl, R. E. (1996). The regulation of sleep and arousal: Development and psychopathology. *Development and Psychopathology, 8*(1), 3–27.

Davis, K. F., Parker, K. P., & Montgomery, G. L. (2004). Sleep in infants and young children: Part one: normal sleep. *Journal of Pediatric Health Care*, *18*(2), 65–71.

Dewald, J. F., Meijer, A. M., Oort, F. J., Kerkhof, G. A., & Bögels, S. M. (2010). The influence of sleep quality, sleep duration and sleepiness on school performance in children and adolescents: A meta-analytic review. *Sleep Medicine Reviews*, *14*(3), 179–189.

Dionne, G., Touchette, E., Forget-Dubois, N., Petit, D., Tremblay, R. E., Montplaisir, J. Y., & Boivin, M. (2011). Associations between sleep-wake consolidation and language development in early childhood: A longitudinal twin study. *Sleep*, *34*(8), 987–995.

El-Sheikh, M., Bagley, E. J., Keiley, M., Elmore-Staton, L., Chen, E., & Buckhalt, J. A. (2013). Economic adversity and children's sleep problems: Multiple indicators and moderation of effects. *Health Psychology, 32*(8), 849–859.

El-Sheikh, M., Erath, S. A., & Keller, P. S. (2007). Children's sleep and adjustment: The moderating role of vagal

regulation. *Journal of Sleep Research, 16*(4), 396–405.

Gao, X., Ding, B. L., Feng, S. H., & Xing, S. F. (2018). The joint effects of paternal and maternal psychological control and children temperament on children problem behaviors: Diathesis stress or differential susceptibility. *Psychological Development & Education*. *34*(1), 28–37.

[高鑫, 丁碧蕾, 冯姝慧, 邢淑芬. (2018). 父母心理控制和儿童消极情绪性对学前儿童问题行为的共同作用:"素质-压力"还是"差别易感性". *心理发展与教育, 34*(1), 28–37.]

Goodnight, J. A., Bates, J. E., Staples, A. D., Pettit, G. S., & Dodge, K. A. (2007). Temperamental resistance to control increases the association between sleep problems and externalizing behavior development. *Journal of Family Psychology*, *21*(1), 39–48.

Groeger, J. A., Viola, A. U., Lo, J. Y., von Schantz, M., Archer, S. N., & Dijk, D-J. (2008). Early morning executive functioning during sleep deprivation is compromised by a PERIOD3 polymorphism. *Sleep: Journal of sleep and sleep Disorders Research*, *31*(8), 1159–1167.

Hardell, L. (2018). Effects of mobile phones on children's and adolescents' health: A commentary. *Child Development*, *89*(1), 137–140.

Harrison, Y., Jones, K., & Waterhouse, J. (2007). The influence of time awake and circadian rhythm upon performance on a frontal lobe task. *Neuropsychologia*, *45*(8), 1966–1972.

Hartz, K., & Williford, A. (2015). Child negative emotionality and caregiver sensitivity across context: Links with children's kindergarten behavior problems. *Infant and Child Development, 24*(2), 107–129.

Hentges, R. F., Davies, P. T., & Cicchetti, D. (2015). Temperament and interparental conflict: The role of negativeemotionality in predicting child behavioral problems. *Child Development, 86*(5), 1333–1350.

Huttenlocher, P. R. (2002). Morphometric study of human cerebral cortex development. In M. H. Johnson, Y. Munakata, & R. O. Gilmore, (Eds.), *Brain development and cognition: A reader* (pp. 117–128). Malden: Blackwell Publishing.

Jones, K., & Harrison, Y. (2001). Frontal lobe function, sleep loss and fragmented sleep. *Sleep Medicine Reviews, 5*(6), 463–475.

Kim, S. J., Lee, Y. J., Cho, S., Cho, I., Lim, W., & Lim, W. (2011). Relationship between weekend catch-up sleep and poor performance on attention tasks in Korean adolescents. *Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine*, *165*(9), 806–812.

Knight, R. T., & Stuss, D. T. (2002). Prefrontal cortex: The present and the future. In D. T. Stuss & R. T. Knight (Eds.), *Principles of frontal lobe function*. New York: Oxford University Press.

Kuula, L., Pesonen, A-K., Martikainen, S., Kajantie, E., Lahti, J., Strandberg, T., ... Räikkönen, K. (2015). Poor sleep and neurocognitive function in early adolescence. *Sleep Medicine, 16*(10), 1207–1212.

Kuula, L., Pesonen, A. K., Heinonen, K., Kajantie, E., Eriksson, J. G., Andersson, S., ... Räikkönen, K. (2018). Naturally occurring circadian rhythm and sleep duration are related to executive functions in early adulthood. *Journal of Sleep Research*, *27*(1), 113–119.

Lam, J. C., Mahone, E. M., Mason, T. B. A., & Scharf, S. M. (2011). The effects of napping on cognitive function in preschoolers. *Journal of Developmental And Behavioral Pediatrics, 32*(2), 90–97.

Matricciani, L. A., Olds, T. S., Blunden, S., Rigney, G., & Williams, M. T. (2012). Never enough sleep: A brief history of sleep recommendations for children. *Pediatrics, 129*(3), 548–556.

Meltzer, L. J., Montgomery-downs, H. E., Insana, S. P., & Walsh, C. M. (2012). Use of actigraphy for assessment in pediatric sleep research. *Sleep Medicine Reviews*, *16*(5), 463–475.

Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., & Howerter, A. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology, 41*(1), 49–100.

Molińska, M., & Złotogórska-Suwińska, A. (2016). Sleep deficits and executive functions at different developmental stages-meta-analysis. *The Polish Journal of Aviation Medicine, Bioengineering and Psychology*, *22*(2), 27–38.

Morgan, J. K., Shaw, D. S., & Olino, T. M. (2012). Differential susceptibility effects: The interaction of negative emotionality and sibling relationship quality on childhood internalizing problems and social skills. *Journal of Abnormal Child Psychology*, *40*(6), 885–899.

Nelson, C. A., & Luciana, M. (2001). Handbook of developmental cognitive neuroscience. *Neuroscience*. Cambridge, Mass: MIT Press.

Olini, N., & Huber, R. (2014). Diurnal changes in electrocorticogram sleep slow-wave activity during development in rats. *Journal of Sleep Research*, *23*(3), 263–269.

Olsen, O. K., Pallesen, S., & Espevik, R. (2013). The impact of partial sleep deprivation on military naval officers' ability to anticipate moral and tactical problems in a simulated maritime combat operation. *International Maritime Health, 64*(2), 61–65.

Owens, J. A. (2014). Insufficient sleep in adolescents and young adults: An update on causes and consequences. *Pediatrics, 134*(3), e921–e932.

Pattinson, C. L., Smith, S. S., Staton, S. L., Trost, S. G., & Thorpe, K. J. (2018). Investigating the association between sleep parameters and the weight status of children: Night sleep duration matters. *Sleep Health*, *4*(2), 147–153.

Philbrook, L. E., Hinnant, B., Elmore-staton, L., Buckhalt, J. A., & El-sheikh, M. (2017). Sleep and cognitive functioning in childhood: Ethnicity, socioeconomic status, and sex as moderators. *Developmental Psychology*, *53*(7), 1276–1285.

Pluess, M., & Belsky, J. (2009). Differential susceptibility to rearing experience: The case of childcare. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 50*(4), 396–404.

Reynaud, E., Vecchierini, M-F., Heude, B., Charles, M-A., & Plancoulaine, S. (2018). Sleep and its relation to cognition and behaviour in preschool-aged children of the general population: A systematic review. *Journal of Sleep Researc*, *27*(3), e12636.

Roisman, G. I., Newman, D. A., Fraley, R. C., Haltigan, J. D., Groh, A. M., & Haydon, K. C. (2012). Distinguishing differential susceptibility from diathesis-stress: Recommendations for evaluating interaction effects. *Development and Psychopathology*, *24*(2), 389–409.

Rothbart, M. K., & Bates, J. E. (2006). Temperament. In W. Damon, R. M. Lerner, & N. Eisenberg (Eds.), *Handbook of child psychology: Vol. 3. Social, Emotional, and Personality Development* (6th ed., pp. 99–166). New York: Wiley.

Ringli, M., & Huber, R. (2011). Developmental aspects of

sleep slow waves: Linking sleep, brain maturation and behavior. *Progress in Brain Research*, *193*(1), 63–82.

Rupp, T. L., Killgore, W. D. S., & Balkin, T. J. (2010). Socializing by day may affect performance by night: Vulnerability to sleep deprivation is differentially mediated by social exposure in extraverts vs introverts. *Sleep*, *33*(11), 1475–1485.

Sadeh, A., Gruber, R., & Raviv, A. (2002). Sleep, neurobehavioral functioning, and behavior problems in school-age children. *Child Development*, *73*(2), 405–417.

Scher, A. (2005). Crawling in and out of sleep. *Infant and Child Development*, *14*(5), 491–500.

Seo, W. S., Sung, H-M., Lee, J. H., Koo, B. H., Kim, M. J., Kim, S. Y., ... Shin, I. H. (2010). Sleep patterns and their age-related changes in elementary-school children. *Sleep Medicine*, *11*(6), 569–575.

Singer, W. (1995). Development and plasticity of cortical processing architectures. *Science*, *270*(5237), 758–764.

Spruyt, K., Alaribe, C. U., & Nwabara, O. U. (2015). To sleep or not to sleep: A repeated daily challenge for African American children. *Cns Neuroscience & Therapeutics*, *21*(1), 23–31.

Sun, W-Q., Jiang, Y-R., Chen, W-J., Wang, Y., Li, F., Li, S-H. … Jiang, F (2012). Influences of weekend catch-up sleep on sleep quality and academic achievements. *Chinese Journal of Child Health Care, 20*(9), 783–86.

[孙莞绮, 姜艳蕊, 陈文娟, 王燕, 李峰, 李生慧 … 江帆. (2012). 周末补偿睡眠对学龄儿童睡眠质量和学业表现的影响. *中国儿童保健杂志, 20*(9), 783–786.]

Thorpe, K., Staton, S., Sawyer, E., Pattinson, C., Haden, C., & Smith, S. (2015). Napping, development and health from 0 to 5 years: A systematic review. *Archives of Disease in Childhood, 100*(7), 615–622.

Turnbull, K., Reid, G. J., & Morton, J. B. (2013). Behavioral sleep problems and their potential impact on developing executive function in children. *Sleep, 36*(7), 1077–1084.

Vermeulen, M. C. M., Astill, R. G., Benjamins, J. S., Swaab, H., Van Someren, E. J. W., & van der Heijden, K. B. (2016). Temperament moderates the association between sleep duration and cognitive performance in children. *Journal of Experimental Child Psychology*, *144,* 184–198.

Vernon, L., Modecki, K. L., & Barber, B. L. (2018). Mobile phones in the bedroom: Trajectories of sleep habits and subsequent adolescent psychosocial development. *Child Development*, *89*(1), 66–77.

Wang, G. H. (2015). *Sleep problems of preschool children in China: characteristics, influencing factors, and behavioral interventions*. Doctoral dissertation, East China Normal University.

[王广海. (2015). *我国学龄前儿童睡眠问题:特点、影响因素及行为干预*. 华东师范大学.]

Wang, H-S., Huang, X-N., Jiang, J-X., Ma, Y-Y., An, L., & Liu. X-C. (2006). Study on sleep time of Chinese children aged 0~5 years in cities. *Chinese Journal of Child Health Care, 14*(4), 354–356.

[王惠珊, 黄小娜, 蒋竞雄, 马渝燕, 安琳, 刘玺诚. (2006). 中国城市 0~5 岁儿童睡眠时间流行病学调查. *中国儿童保健杂志, 14*(4), 354–356.]

Ward, T. M., Gay, C., Anders, T. F., Alkon, A., & Lee, K. A. (2008). Sleep and napping patterns in 3-to-5-year old children attending full-day childcare centers. *Journal of Pediatric Psychology, 33*(6), 666–672.

Wimmer, F., Hoffmann, R. F., Bonato, R. A., & Moffitt, A. R. (1992). The effects of sleep deprivation on divergent thinking and attention processes. *Journal of Sleep Research, 1*(4), 223–230.

Zentner, M., & Bates, J. E. (2008). Child temperament: An integrative review of concepts, research programs, and measures. *European Journal of Developmental Science, 2*(1-2), 7–37.

Zelazo, P. D., Carlson, S. M., & Kesek, A. (2008). The development of executive function in childhood. In C. A. Nelson, & M. Luciana (Eds.), Developmental cognitive neuroscience. *Handbook of developmental cognitive neuroscience* (pp. 553–574). Cambridge, MA: MIT Press.

Zhao, X. N., Zhang, J. H., Zhao, P., Li, P. C., & Yuan, X. L. (2014). Factors associated with sleeping time in school-aged children in Harbin City. *Chinese Journal of School Doctor, 28*(11), 801–802.

[赵雪妮, 张纪华, 赵浦, 李鹏程, 袁迅玲. (2014). 哈尔滨市学龄儿童睡眠时间及相关因素分析. *中国校医, 28*(11), 801–802.]



## Differential influence of sleep time parameters on preschoolers' executive function

XING Shufen[1]; LI Qianqian[1]; GAO Xin[1]; MA Yuanyuan[1]; FU Rui[2]

([1] *College of Psychology, Capital Normal University; Beijing Key Laboratory of "Learning & Cognition", Beijing* 100048, *China*)

([2] *Children's Hospital of Philadelphia, Philadelphia,* 19146, *USA*)

### Abstract

In China, disruptive sleep patterns and sleep deficiency are prevalent in preschool children. Literature has largely focused on the relationship between sleep duration and child development in adolescents and school-age children. Yet little is known about the impact of sleep duration in preschool children, for example, on their advanced neurocognitive function. Given that sleep need and sleep maturation develop rapidly in the first years of life, research findings in older children cannot be generalized to preschoolers.

Developmental research indicates individual differences in sleep need. From a developmental perspective, it is crucial to explore whether children's susceptibility to neurocognitive disruptions is associated with sleep

problems. Temperament, one aspect of individual susceptibility, is shown to be relatively stable across situations and developmental periods. In this study, negative emotionality in preschool children was used to indicate temperament. The goal of this study was to examine the links between preschoolers' initial sleep duration (i.e., total daily sleep duration, ratio of nighttime sleep to total daily sleep, and sleep compensation over the weekend) and later executive function and the moderating role of children's negative emotionality in the links. The sample was composed of 78 preschool children ($M_{age}$ = 6.31 years, $SD$ = 0.35) and their mothers. Total daily sleep duration, ratio of nighttime sleep, sleep compensation over the weekend, and child negative emotionality were assessed using parental sleep diaries and mother reports. Child executive function was measured three months later using a set of standardized measurement procedures offered by the National Institutes of Health (NIH).

The results of the present study indicated that controlling for children's concurrent language ability, initial ratio of nighttime sleep significantly predicted children's subsequent executive function. In addition, we found that negative emotionality significantly moderated the relation between sleep compensation and the three components of the executive function (working memory, inhibitory control, cognitive flexibility), in support of the differential susceptibility model. Specifically, sleep compensation was positively associated with performance in the executive function tests for preschool children with high negative emotionality whereas the association was nonsignificant for children with low negative emotionality.

In conclusion, our findings suggested that children who sleep longer at night would be more advanced in their EF development. For children with high negative emotionality, sleep compensation over the weekend has a positive effect on their executive function skills. The results of this study provided important practical implications for Chinese preschoolers' sleep arrangements.

**Key words**　sleep duration; executive function; negative emotionality; differential susceptibility; preschoolers